



ČESKÁ REPUBLIKA
ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ



OSVĚDČENÍ

O ZÁPISU UŽITNÉHO VZORU

Josef Kratochvíl
předseda
Úřadu průmyslového vlastnictví

Úřad průmyslového vlastnictví

zapsal podle § 11 odst. 1 zákona č. 478/1992 Sb., v platném znění, do rejstříku

UŽITNÝ VZOR

číslo

36220

na technické řešení uvedené v příloženém popisu.

V Praze dne: 19.07.2022

Za správnost:

Jiří Voráček
oddělení rejstříků

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Číslo zápisu: **36220**

Datum zápisu: 19.07.2022

Číslo přihlášky: **2022-39855**

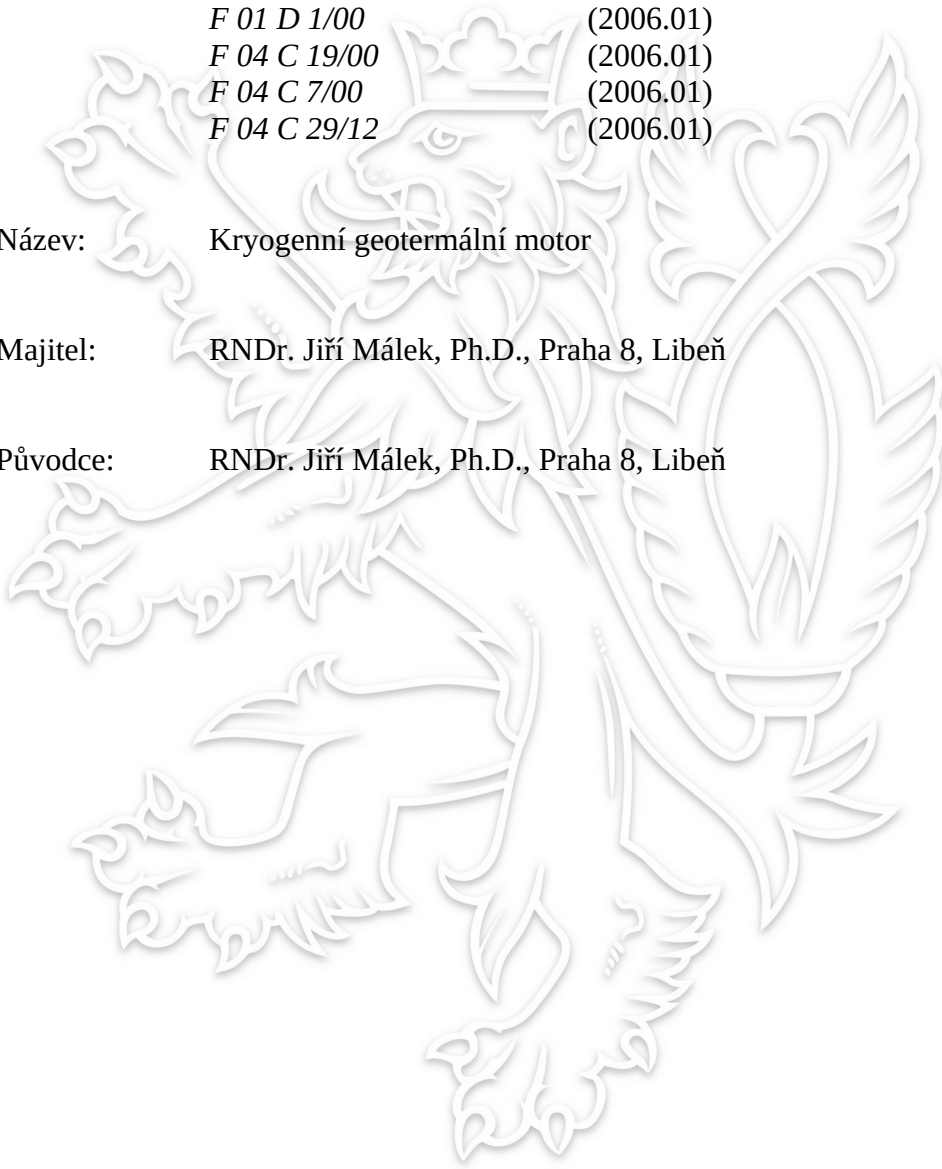
Datum přihlášení: 03.05.2022

MPT: *F 03 G 7/04* (2006.01)
F 01 D 1/00 (2006.01)
F 04 C 19/00 (2006.01)
F 04 C 7/00 (2006.01)
F 04 C 29/12 (2006.01)

Název: Kryogenní geotermální motor

Majitel: RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Praha 8, Libeň

Původce: RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Praha 8, Libeň



UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

36 220

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

F03G 7/04 (2006.01)
F01D 1/00 (2006.01)
F04C 19/00 (2006.01)
F04C 7/00 (2006.01)
F04C 29/12 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2022-39855**
(22) Přihlášeno: **03.05.2022**
(47) Zapsáno: **19.07.2022**

- (73) Majitel:
RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
- (72) Původce:
RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
- (74) Zástupce:
Hák, Janeček & Švestka, Patentová a známková
kancelář, RNDr. Roman Hák, patentový zástupce,
U průhonu 827/5, 170 00 Praha 7, Holešovice

- (54) Název užitého vzoru:
Kryogenní geotermální motor

Kryogenní geotermální motor

Oblast techniky

5

Předložené technické řešení se týká energetiky, konkrétně zařízení pro přeměnu geotermální energie na energii mechanickou. Výhodně se týká zařízení, které je užitečné pro výrobu elektřiny s využitím geotermální energie, která je obsažena v horninách v zemské kůře. Dosud se této energii využívalo zvláště u tepelných čerpadel nebo u pokusných elektráren typu HDR („hot dry rock“). Technické řešení se také zabývá využitím energie obsažené v důlních vodách v zatopených starých dolech.

10

Dosavadní stav techniky

15

Ve světě se běžně využívá elektráren a tepláren založených na těžbě horké páry v geotermálních oblastech. V některých zemích dosahuje podíl elektřiny a tepla produkovaných geotermálními zdroji desítek procent, například na Islandu to je kolem 30% elektřiny a 90% tepla. Elektrárny typu HDR, které využívají tepelnou energii ze suchých hornin, však zůstávají spíše v ověřovacím režimu (například v Japonsku a ve Francii). Dosavadní experimenty s HDR využívaly vrty do 20 hloubky 2200 m až 5100 m. Běžně používaná tepelná čerpadla typu země/vzduch nebo země/voda, které také využívají geotermální energii, se používají k vytápění budov a ohřevu vody. Obvyklá hloubka vrtu je u těchto tepelných čerpadel do 300 m. Problémem při větším využití tepla ze suchých hornin je, že jejich teplota v prvních kilometrech je pouze mírně vyšší než teplota povrchu. Teplotní gradient je průměrně 3 K na 100 m hloubky, což nedostačuje k efektivní výrobě elektřiny. Hloubení hlubokých vrtů, které by dosáhly do oblasti vysokých teplot, je mimo geotermální oblasti velmi nákladné. Patent CZ 308559 B6 popsal způsob hloubení hlubokých studní, který lze označit za metodu horkého vrtání, založenou na tavení hornin a jejich rekrystalizaci. Aplikace tohoto způsobu by mohla znamenat značné zlevnění vytváření velmi 30 hlubokých vrtů do hloubky 5 až 20 km. Jiný způsob vrtání byl popsán v patentu US 11028648 B1. Tento způsob je založen na využití zdroje milimetrových vln (gyrotronu) a měl by umožnit provedení vrtů až do hloubky 35 km. Společnost Quaise, Inc. (startup Massachusettského technologického institutu, MIT, Cambridge, USA) plánuje pomocí této technologie realizovat vrty pro využití geotermální energie do hloubky 20 km (informace přístupné na stránkách 35 <https://www.engine.xyz/founders/quaise/>, <https://newatlas.com/energy/quaise-deep-geothermal-millimeter-wave-drill/>). Další zdroj: Zábránová E., Matyska R., Málek J. (2022): Analytical approach to estimates of heat extraction from deep coaxial boreholes in general layered models. Submitted to *Energy* (Elsevier).

40

Podstata technického řešení

Předložené technické řešení se týká zařízení pro vysoce efektivní využití geotermální energie. Zařízení je označeno jako motor, protože jde o zařízení, které přeměňuje primárně geotermální energii na energii mechanickou (pohyb turbíny), která je ve výhodném provedení využita k pohonu alternátoru pro výrobu elektrické energie. Předložené technické řešení řeší nedostatečnou účinnost geotermálních zdrojů energie, zejména elektráren, tím, že využívá velmi nízkých teplot média pro přenos energie. Tím se zvyšuje množství tepla přenášeného z horniny do média, neboť se zvýší 50 rozdíl mezi teplotou hornin a média. Výhodné řešení je takové, kdy maximální teplota média se blíží teplotě hornin v blízkosti povrchu (přibližně 280 K) a minimální teplota je mezi teplotou tání a varu použitého přenosového média. Jako nejvhodnější média se jeví dusík (trojný bod 63,15 K; 12,5 kPa) a zvláště argon (trojný bod 83,81 K; 69,0 kPa). Kromě fyzikálních vlastností (kterým vyhovují i další plyny) je u těchto dvou plynů důležitá jejich nízká reaktivita (zvláště u argonu) 55 a nízká cena (zvláště u dusíku). Nízká reaktivita je výhodná kvůli tomu, aby nedocházelo

k chemickým reakcím (korozi) mezi médiem a ostatními částmi motoru jako je turbína, nebo pažení vrtu.

5 Množství tepla za jednotku času, které se přenese z horniny do média, se zvyšuje s velikostí teplotního rozdílu mezi horninou a médiem a velikostí styčné plochy. Přenášené teplo je však zároveň limitováno tepelnou vodivostí hornin, která je velmi malá. Pokud chceme udržet ustálený výkon geotermálního motoru, můžeme odebírat jen tolik energie, kolik se stihne doplnit z okolí. Z hlubšího vrtu je možno čerpat podstatně více energie než z mělkého. Značné zvýšení množství tepla přiváděného k vrtu je možno dosáhnout, pokud v okolních horninách existuje cirkulace vody, a tedy teplo se šíří konvekcí. Tento mechanismus je velmi výrazný v zatopených starých dolech, 10 kde je možno využít důlních vod. Výhodné řešení je proto takové, kdy vrt pronikne na jeho dolním konci do zatopeného důlního díla nebo pokud je zařízení podle tohoto technického řešení umístěno ve staré důlní jámě (viz příklad 3).

15 Základem geotermálního motoru podle předloženého technického řešení je zemní vrt, který obsahuje náplň pracovního média (pracovního plynu), které ve vrtu cirkuluje a mění své skupenství plynné/kapalné. Ve výhodném provedení je vrt doplněn hlubokým prohloubením vrtu (dále „prohloubení“). V jiném výhodném provedení může toto prohloubení chybět. Vrt sahá od povrchu do hloubky 100 až 500 m a je vystrojen speciální pažnicí z ocele nebo z jiného kovu. V ose vrtu je 20 tepelně izolovaný kanál z keramického materiálu, kterým proudí dolů kapalina o nízké teplotě, tj. zkapalněný pracovní plyn, výhodně kapalný argon nebo dusík. Uvnitř vrtu, dutinou mezi pažnicí a kanálem, proudí nahoru pracovní plyn. Na pažnici mohou být rovnoběžně s osou vrtu namontovány perforované destičky z tepelně vodivého kovu (například z hliníku) spojené s pažnicí, které zvyšují plochu, na které dochází k přenosu tepla z okolních hornin. Na dně vrtu je 25 varná nádoba z nerezové oceli se zesílenými stěnami, ve které dochází k přeměně z kapalné do plynné fáze. Dno varné nádoby (tj. dno vrtu) může být ploché, popřípadě ve tvaru polokoule nebo kuželu (zvětšení plochy přenosu tepla). Tvar kuželu je výhodný zejména v případě prohloubení vrtu. Při stoupání se plyn ohřívá o stěny vrtu a o příčné destičky tak, že u horního vyústění vrtu dosáhne přibližně teploty okolní horniny T_2 (tj. přibližně 280 K). Tomu je přizpůsobeno množství 30 plynu v uzavřeném systému a rozmístění hliníkových destiček, které jsou umístěny rovnoběžně s osou vrtu s delší stranou ve vertikálním směru.

Prohloubení vrtu slouží ke zvýšení výkonu motoru tím, že přenáší teplo z větších hloubek (viz příklad 1). Motor podle tohoto technického řešení může pracovat jen se samotným vrtem, ovšem 35 s menším výkonem (viz příklad 2). Při využití cirkulace vody v okolním prostředí například v zatopených starých dolech není prohloubení nutné (viz příklad 3). Prohloubení vrtu významně prodlužuje výstavbu motoru. Je proto třeba optimalizovat jeho hloubku, aby bylo dosaženo dostatečného výkonu při malých nákladech. Prohloubení vrtu obsahuje jako pracovní médium vodu, která v prohloubení cirkuluje a mění skupenství voda/pára. Prohloubení je (obdobně jako 40 vrt) vystrojeno pažnicí, v ose prohloubení je tepelně izolovaný kanál z keramických materiálů, který je určen pro sestup vody ke dnu prohloubení. Uvnitř prohloubení, dutinou mezi pažnicí a kanálem, proudí nahoru vodní pára. Pažnice je do hloubky přibližně 4 km vyrobena z tepelného izolantu (například keramiky), od 4 km níže je pažnice ocelová a dole je vrt uzavřen ocelovým dnem. V hloubce přibližně 4 km, kde začíná ocelová pažnice, je teplota hornin přibližně 390 K, 45 a tedy umožňuje pohyb vodní páry bez její kondenzace. Nad 4 km je pára tepelně izolovaná od okolních hornin, proto se pohybuje vzhůru rovněž bez kondenzace, ovšem mírně se snižuje teplota. V hloubce přibližně 100 až 500 m narazí stoupající vodní pára o teplotě 380 K na dno varné nádoby, které má teplotu přibližně 275 K, a na něm kondenzuje. Přitom předá dnu varné nádoby teplo, které vzniká jednak kondenzací páry, jednak snížením teploty vody po kondenzaci na 280 K. 50 Toto teplo se dále předává médiu – zkapalněnému plynu (argon nebo dusík) ve varné nádobě. Kondenzovaná voda stéká středním kanálem až na dno prohloubení, a přitom se mírně ohřívá na teplotu 300 K. Na dně prohloubení je teplo přenášeno ocelovou pažnicí na vodu, která se vaří. Vzniklá pára je hnána vzhůru tlakem, který způsobuje vodní sloupec ve středním kanálu. Voda v prohloubení tak slouží k přenosu tepla z hlubších partií Země, není však přímo využívána 55 k výrobě mechanické energie.

Pro správnou funkci motoru jsou důležité přechody mezi plynnou a kapalnou fází ve vrtu. Tlak v médiu nesmí překročit tlak kritického bodu (pro dusík 3,40 MPa, pro argon 4,86 MPa), nad kterým se látka nachází ve stavu superkritické kapaliny a nedochází k fázovým přechodům. Tím je dána maximální výška kapalinového sloupce ve středním kanálu vrtu. Plyn (argon, dusík) ve vrtu má tlak $p_l = \rho g h$, kde ρ je hustota kapaliny (pro argon $\rho = 1784 \text{ kg/m}^3$, pro dusík $\rho = 810 \text{ kg/m}^3$), $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ je tíhové zrychlení a h je rozdíl sloupce kapaliny ve vrtu (tj. varné nádobě) a ve středním kanálku.

Geotermální motor dále obsahuje turbínu, výhodně umístěnou pod zemí v blízkosti povrchu u ústí vrtu, popřípadě na povrchu. Turbinou je plynová turbína. Plynovou turbínou se ve stavu techniky často rozumí spalovací turbína, kde pracovní látkou jsou plynné spaliny. Avšak plynová turbína pro geotermální motor podle technického řešení je plynová turbína, která je variantou parní turbíny, ve které je pracovní látkou místo přehřáté páry pracovní plyn (argon, dusík) proudící v důsledku tlaku ve vrtu. Odborník je schopen na základě stavu techniky zkonstruovat vhodnou plynovou turbínu uzpůsobenou pro využití v geotermálním motoru podle technického řešení. Při průtoku pracovního plynu turbínou dochází k přeměně vnitřní, případně kinetické energie plynu na práci konanou rotorem turbíny. Po průchodu turbínou je plyn kondenzován v kondenzátoru (chladiči) a vrací se odtokovým kanálem do zásobníku zkapalněného plynu a pak do vrtu. Zásobník zkapalněného plynu je uzpůsoben také pro případné doplňování pracovního plynu z vnějšího zdroje. Turbína je funkčně spojena s ústím vrtu pro průtok pracovního plynu z vrtu do turbíny a se zásobníkem zkapalněného pracovního plynu pro shromažďování zkapalněného pracovního plynu zkondenzovaného v turbíně a/nebo po průchodu turbínou, přičemž zásobník je funkčně spojen s kanálem pro navrácení zkapalněného plynu do vrtu. Funkčním spojením se rozumí spojení pomocí vhodných potrubí a ventilů, které umožňuje pohyb plynu nebo kapaliny mezi vrtem a turbínou a také umožňuje tento pohyb regulovat.

Ve výhodném provedení geotermálního motoru podle technického řešení je turbína konstruována jako přetlaková plynná turbína, která je originálním řešením. Turbína je výhodně umístěna pod zemským povrchem přímo v ústí vrtu nebo v přídatné vodorovné štole navazující kolmo na vrt, má buďto svislou nebo horizontální osu otáčení. Turbína využívá tlaku plynu ve vrtu k přeměně na mechanickou práci a dále může být případně využita k výrobě elektřiny. Při průchodu plynu turbínou dochází k poklesu tlaku a ochlazení plynu až zkapalní. Jako hlavní komponenty obsahuje turbína alespoň jednu expanzní komoru, tj. skříň s vnitřním prostorem ve tvaru válce, kde kruhové dno, víko a válcová stěna (plášť) tvoří expanzní komoru, ve které je umístěna středová hřídel, na které je koaxiálně usazena a pevně uchycena pracovní hřídel s pístem, přičemž osa rotace hřídele je shodná s osou válcovité expanzní komory. Turbína výhodně obsahuje několik expanzních komor, jak bude vysvětleno dále. Pracovní hřídel je buď plná nebo odlehčená pomocí otvorů. Plná pracovní hřídel má větší hmotnost, a tedy také větší setrvačnost, což je u některých aplikací důležité. Naproti tomu odlehčená pracovní hřídel klade menší tlak v ložiscích, což prodlužuje jejich životnost. Píst, který má obdélníkový průřez a speciální tvar (viz níže), je pevně spojen s pracovní hřídelí (píst lze připodobnit lopatce, hřídel s pístem se podobá „oběžnému kolu s jednou lopatkou“, pracovní hřídel s pístem se podobá vačce s palcem). Vnitřní stěna válcovitého pláště expanzní komory a vnější plocha pracovní hřídele vymezují pracovní prostor expanzní komory, který je pístem rozdělen na prostor před pístem a prostor za pístem. Mezi pístem a pláštěm expanzní komory je těsnění z pružného materiálu například z technické pryže. Dále turbína obsahuje vstupní otvor pro přivádění plynu, který je oddělen od přívodního potrubí vstupním ventilem, a dále obsahuje záklopku zasahující do expanzní komory, přičemž čep záklopky (kolem kterého se záklopka otáčí) je pevně spojen s expanzní komorou, a elektromagnet pro ovládání záklopky. Dále je součástí turbíny odtokový otvor, který ústí do odtokového kanálu. Tento odtokový kanál a zásobník kapaliny (zkapalněného plynu) musí být dokonale tepelně izolovány pro udržení kapalného stavu. Toho se dosáhne jejich umístěním do Dewarovy nádoby.

Činnost turbíny sestává ze dvou fází. První fáze začíná v čase t_1 , kdy je píst a záklopka těsně u sebe, objem mezi nimi je velmi malý. V čase t_1 se otevře vstupní ventil a do expanzní komory začne pod

tlakem proudit plyn. Píst se pohybuje a roztáčí hřídel. Tento děj je přibližně isobarický a isotermický, objem plynu je doplňován varem na dně vrtu. V čase t_2 je vstupní ventil uzavřen a nastává druhá fáze. Objem mezi pístem a záklopkou se dále zvětšuje, tlak mezi nimi klesá a teplota klesá, až dojde ke kondenzaci plynu na kapalinu. Zároveň je kapalina na druhé straně pístu vytlačována výstupním otvorem do odtokového kanálu. Ve druhé fázi je děj přibližně adiabatický. Tato fáze pokračuje, až píst narazí zezadu do záklopkou. Píst přejde přes záklopkou (která se opět uzavře) a tím se z prostoru za pístem stane prostor před pístem. Tím končí druhá fáze, je otevřen vstupní ventil a začíná opět fáze 1. Výše popsaná turbína s jednou expanzní komorou představuje jeden stupeň (jednotku) vícestupňové (vícejednotkové) turbíny, jak bude vysvětleno dále.

Přechod pístu přes záklopkou je důležitým prvkem celého procesu. Musí při něm zůstat stále oddělen prostor před pístem a za pístem. Toho je dosaženo jednak speciálním válcovitým tvarem přední i zadní části pístu, jednak elektromagnetem, který ovládá záklopkou a konečně vhodným načasováním otevření vstupního ventilu. Zákloпка je udržována ve své poloze „zavřeno“ jednak přetlakem před a za záklopkou, jednak elektromagnetem. Když narazí píst zezadu do záklopkou, je tlak v expanzní komoře před záklopkou minimální a zároveň je v tom okamžiku vypnut elektromagnet. Píst se pohybuje setrvačností hřídele a sklopí záklopkou. Jakmile píst přejde přes záklopkou, je elektromagnet opět zapnut a zároveň je otevřen vstupní ventil. To způsobí pohyb záklopkou po zadní straně pístu, přitom zůstává prostor před a za pístem oddělen. Zapínání a vypínání elektromagnetu je ovládáno polohou pístu, která je detekována například pomocí laserové závory.

Turbína obsahuje také řídicí jednotku, která je uzpůsobena k tomu, že detekuje pohyb pístu a pohyb záklopkou, popřípadě tlakové poměry v expanzní komoře, a řídí pohyb záklopkou aktivací/deaktivací elektromagnetu a otevírání/uzavírání vstupního ventilu a také měří tlak a teplotu ve vrtu.

Největší výkon mechanické práce se získává v první fázi mezi časy t_1 a t_2 , kdy je největší tlak. Dobu první fáze je proto výhodné zvolit co nejdéle zároveň však musí být druhá fáze dostatečně dlouhá, aby došlo ke kondenzaci plynu na kapalinu. Výpočet délky jednotlivých fází závisí na teplotě plynu ve vrtu T_2 a na druhu použitého plynu (na jeho teplotě varu, Poissonově konstantě a měrném teple varu). Například pro Argon s teplotou 280 K (teplota varu 87,13 K, Poissonova konstanta 1,67 a měrné varné teplo 6,274 kJ/mol) vychází, že ve druhé fázi se objem pod pístem musí zvětšit alespoň osmkrát, aby všechen plyn zkondenzoval. V případě dusíku s teplotou 280 K (teplota varu 77,35 K, Poissonova konstanta 1,40 a měrné varné teplo 2,79 kJ/mol) je třeba, aby se ve druhé fázi objem zvětšil dvanáctkrát, aby došlo k úplné kondenzaci. Vzhledem k tomu, že síla působící na píst se během druhé fáze mění, byl by pohyb hřídele nerovnoměrný. Proto je výhodně turbína uspořádána jako vícestupňová (vícejednotková), kde ke stejné středové hřídeli je připojeno několik expanzních komor, kde válcovité expanzní komory jsou uspořádány tak, že k sobě přiléhají, vytvářejí válcovitý soubor („svazek“). Takže k jedné středové hřídeli je pevně připojeno několik pracovních hřídelí s pístem, přičemž polohy hřídelí, respektive pístů, jsou vůči sobě fázově posunuty (o příslušný úhel, např. $2\pi/8$ nebo $2\pi/12$) vzhledem ke středové hřídeli, a tedy ose rotace. Jestliže je expanzních komor mnoho, je pohyb středové hřídele rovnoměrný, avšak rostou poněkud náklady na zařízení. Počet komor volíme podle účelu, ke kterému stroj používáme. Pro výrobu elektrické energie potřebujeme rovnoměrné otáčení, a proto je výhodné volit tolik komor, aby vždy alespoň jedna z nich byla v první fázi. Tedy pro Argon s teplotou 280 K je výhodné zapojit 8 expanzních komor na stejnou hřídel a pro dusík 12. Spolu se setrvačností rotoru alternátoru, připojeného na středovou hřídel, zajišťuje toto uspořádání přibližně rovnoměrný pohyb. Otáčky středové hřídele jsou závislé jednak na zatížení hřídele (síle, kterou musí při otáčení překonávat) jednak na tlaku ve vrtu (který je dán rozdílem hladin ve středním kanálku a v samotném vrtu). Regulací množství kapaliny, vpouštěné ze zásobníku do středního kanálku je možno tento tlak regulovat a dosáhnout tak konstantních otáček, které jsou důležité pro výrobu elektrické energie.

Odborníci najdou na základě předloženého popisu snadno i modifikovaná řešení, jak využít tlaku ve vrtu k přeměně na mechanickou energii, popřípadě k výrobě elektřiny při současné kondenzaci

plynu, řešení popsané výše představuje výhodnou variantu. Například, v některých případech může být výhodné oddělit turbínu a zkapalnění plynu. Pak by z turbíny vystupoval plyn o teplotě blízké bodu varu a bylo by možné prodloužit fázi jedna a zkrátit fázi dvě. Tím by se zvýšil výkon turbíny a dosáhlo by se rovnoměrného pohybu i při menším počtu jednotek. Zkapalnění by pak probíhalo v samostatném zkapalňovači, který může fungovat na různých principech. Přitom by však bylo třeba dodávat zvnějšku energii, takže účinnost elektrárny by nakonec byla nižší než ve výše popsaném výhodném provedení.

Při výše popsaném procesu dochází k přeměně vnitřní energie plynu na mechanickou práci a současně se uvolňuje teplo. Teoretická maximální účinnost přeměny geotermální energie na mechanickou práci je podle Carnotovy věty $(T_2 - T_1)/T_2$. V případě argonu je to 70 % ($T_1 = 85$ K, $T_2 = 280$ K), v případě dusíku je to 77 % ($T_1 = 65$ K, $T_2 = 280$ K). Praktická účinnost je nižší, protože dochází ke ztrátám v důsledku tření. Zbytek vnitřní energie se uvolní ve formě tepla, které je třeba ze systému odvést. K tomu se využívá chladicí zařízení standardní, odborníkovi známé konstrukce, které udržuje vnější plášť turbíny na stálé teplotě. Pokud zvolíme tuto teplotu vhodně, je možno používat chladicí kapalinu nebo plyn zároveň k vytápění budov.

Turbínu je možno použít přímo k mechanickému pohonu strojů. V tom případě je účinnost přeměny geotermální energie na mechanickou práci nejvyšší, odpadají ztráty při výrobě elektrické energie a její zpětné přeměně na práci a rovněž odpadají náklady na výrobu elektrické části. Vzhledem k tomu, že potřebný vrt je možno provést prakticky kdekoliv, je toto řešení značně efektivní. Je vhodné například pro aplikace jako pohon dopravníkového pásu, lanovky, mlýnu, pily, kompresorů atd. (viz příklad 2). Obvyklejší je však použití turbíny jako generátoru elektrické energie (viz příklady 1 a 3), kdy je turbína spojena s alternátorem pro výrobu elektrické energie, stejně, jako je tomu u běžných elektráren na fosilní paliva. Je samozřejmě možno použít i kombinaci obou režimů.

Kryogenní geotermální motor podle předloženého technického řešení může pracovat jen v podmínkách narůstající teploty směrem do hloubky, jinak by podle druhého termodynamického zákona nebyla možná přeměna vnitřní tepelné energie hornin na mechanickou práci. Zařízení však může pracovat i v podmínkách nízkého teplotního gradientu, který je v zemské kůře průměrně 3 K na 100 m. Konstantní výkon motoru je dlouhodobě možno udržet jen v případě, že se doplňuje teplo z hlubších vrstev Země. Krátkodobě je však možno výkon motoru zvýšit na úkor toho, že teplota okolních hornin v dolní části vrtu klesá (viz příklad 2). Pak je ovšem třeba opět teplotu dorovnat při menším výkonu motoru. Výkon motoru je možno regulovat například množstvím kapalného média, které je vpouštěno řídicím ventilem do kanálu po zkapalnění, případně motor zcela zastavit tím, že přestaneme vpouštět plyn do turbíny. Nabízí se tak možnost velmi pružně reagovat na momentální spotřebu mechanické energie nebo elektrické energie v síti a kompenzovat tak výkyvy, které vznikají například při provozu solárních a větrných elektráren.

Připomeňme, že teplo vzniká v zemské kůře rozpadem radioaktivních prvků a je doplňováno tepelným tokem ze zemského pláště, takže představuje prakticky nevyčerpatelný zdroj energie. Předložené technické řešení čerpá teplo z hloubky a přeměňuje je na mechanickou práci a popřípadě dále na elektrickou energii.

Předmětem předloženého technického řešení je kryogenní termální motor, jak je zde popsán a jak je definován v připojených nárocích.

50 Objasnění výkresů

Obr. 1. A) Schéma vrtu a jeho prohloubení. B) Rozmístění destiček ve vrtu pro lepší přenos tepla.

Obr. 2. Schéma přetlakové turbíny se zkapalňováním pracovního plynu.

55

Obr. 3. Přechod pístu přes záklopku. Obrázek ukazuje postupně „zastavené“ časové snímky. Směr rotace hřídele s pístem je znázorněna šipkou A. Záklopka je uzavřena, píst je těsně za ní, zkapalněný plyn je odváděn kanálkem. B. Záklopka se začíná sklápět. C. Záklopka je téměř sklopena. D. Záklopka je plně sklopena a umožňuje průchod pístu, všechny zkapalněný plyn je již odveden. E. Záklopka se uzavírá, a přitom se pohybuje po zadní straně pístu, pod píst je přiváděn stlačený plyn z vrtu.

Obr. 4. Detail pracovní hřídele ve vícejednotkové turbíně, kde ke stejné středové hřídeli je připojeno několik expanzních komor tak, že vytvářejí válcovitý soubor („svazek“). K jedné středové hřídeli je pevně připojeno několik pracovních hřídelí s pístem, přičemž polohy hřídelí, respektive pístů, jsou vůči sobě fázově posunuty vzhledem ke středové hřídeli, a tedy ose rotace. Plášť turbíny a mezistěny mezi expanzními komorami nejsou znázorněny.

Příklady uskutečnění technického řešení

Příklad 1

Kryogenní geotermální motor

Kryogenní geotermální motor ve výhodném provedení podle předloženého technického řešení je schematicky znázorněn na obr. 1A. Obsahuje zemní vrt 1 a prohloubení 1.1 vrtu 1, a dále obsahuje turbínu 10. Vrt 1 sahá od povrchu do hloubky 300 m a je vystrojen ocelovou pažnicí 2, s vnitřním průměrem 200 mm a tloušťkou stěny 5 mm. V ose vrtu 1 je tepelně izolovaný kanál 3 z keramického materiálu (materiálu používaného pro topná tělesa) s vnitřním průměrem 30 mm a tloušťkou stěny 15 mm, kterým proudí dolů zkapalněný pracovní plyn (dále také jen „kapalina“), kterým je v tomto provedení dusík. Kapalina je do kanálu 3 přiváděna ze zásobníku 13 (viz obr. 2), její množství je regulováno ventilem 15 (podrobněji viz dále). Kolem kanálu 3 (uvnitř pažnice 2) je tak vytvořena dutina 4, kterou proudí nahoru pracovní plyn. V dutině 4 jsou rovnoběžně s osou vrtu namontovány perforované destičky 5 z hliníku o délce 50 cm o tloušťce 3 mm, které rozdělují dutinu 4 na 8 stejných segmentů (na příčném řezu tvoří „paprsky“, viz schéma na obr. 1B) pevně spojené s pažnicí 2, které zvyšují plochu, na které dochází k přenosu tepla z okolních hornin. Destičky 5 na sebe ve svislém směru navazují, takže tvoří souvislé pásy, jednotlivé segmenty ale nejsou od sebe izolovány vzhledem k perforaci destiček 5. Na dně vrtu 1 je varná nádoba 6, ve které dochází k přeměně média z kapalné do plynné fáze. Stěnu (obvod) varné nádoby 6 tvoří zesílená stěna 2.1 pažnice 2. Kanál 3 zasahuje dolním koncem do prostoru varné nádoby 6 až ke dnu 6.1, přičemž mezi dolním ústím kanálu 3 a dnem 6.1 je ponechána mezera dostatečná pro průtok kapaliny do varné nádoby 6. Varná nádoba 6 má v tomto provedení kuželovité dno 6.1 a obsahuje dále kuželovitý usměrňovač 6.2 proudění umístěný pod ústím kanálu 3. Usměrňovač 6.2 slouží k usměrnění a rovnoměrnému rozvedení kapaliny sestupující středním kanálem 3 do varné nádoby 6 a zabraňuje tomu, aby se plyn nedostával do středního kanálu. Ve varné nádobě se kapalina přeměňuje na plyn, při stoupání dutinou 4 se plyn ohřívá o stěny vrtu 1, resp. pažnici 2 a o příčné destičky 5 tak, že u horního vyústění vrtu 1 dosáhne přibližně teploty okolní horniny T_2 (tj. přibližně 280 K).

Prohloubení 1.1 vrtu 1 slouží ke zvýšení výkonu motoru tím, že přenáší teplo z větších hloubek. V prohloubení 1.1 cirkuluje voda/pára. Prohloubení 1.1 je vystrojeno pažnicí, sestávající ze dvou částí 7.1 a 7.2, v ose prohloubení 1.1 je kanál 8 pro sestup vody z keramického materiálu (izolační materiál pro topná tělesa) s průměrem 30 mm a tloušťkou stěny 15 mm, který zajišťuje tepelnou izolaci vnitřku kanálu 8 od zbytku prohloubení 1.1. Horní ústí kanálu 8 je upraveno na trychtýřovité rozšíření 8.1 pro účinný záchyt kondenzované vody. Dno 6.1 varné nádoby 6 společně s trychtýřovitým rozšířením 8.1 kanálu 8 vytváří kondenzátor vodní páry. Prostor mezi vnitřním povrchem pažnice a vnějším povrchem kanálu 8 vymezuje dutinu 9 pro proudění páry směrem vzhůru. Horní část 7.1 pažnice prohloubení 1.1 zasahující do hloubky 4 km, je vyrobena z tepelného izolantu (keramického materiálu pro topná tělesa), od 4 km níže je dolní část 7.2

pažnice prohloubení ocelová, s průměrem 200 mm a tloušťkou stěny 10 mm. Dolní ústí kanálu 8 zasahuje ke dnu prohloubení 1.1, ale nedotýká se ho a ponechává dostatečný prostor pro průtok vody. Na dně prohloubení 1.1 je pod ústím kanálu 8 usazen kuželovitý usměrňovač 7.3 proudění. V hloubce 4 km, kde začíná ocelová část 7.2 pažnice, je teplota hornin přibližně 390 K, a tedy umožňuje pohyb vodní páry bez její kondenzace. Nad 4 km je pára tepelně izolovaná od okolních hornin, proto se pohybuje vzhůru rovněž bez kondenzace, ovšem mírně se snižuje teplota. V hloubce 300 m narazí vodní pára o teplotě 380 K na dno varné nádoby 6, které má teplotu přibližně 275 K, a na něm kondenzuje. Přitom předá dnu varné nádoby 6 teplo, které vzniká jednak kondenzací páry, jednak snížením teploty vody po kondenzaci na 280 K. Toto teplo se dále předává kapalině (zkapalněnému dusíku) ve varné nádobě 6. Kondenzovaná voda stéká středním kanálem 8 až na dno prohloubení 1.1 a přitom se mírně ohřívá na teplotu 300 K. U dna je teplo přenášeno ocelovou částí 7.2 pažnice na vodu, která se vaří a vzniká pára, která stoupá vzhůru dutinou 9. Pára je hnána vzhůru tlakem, který způsobuje vodní sloupec ve středním kanálu 8. Voda v prohloubení 1.1 tak slouží k přenosu tepla z hlubších partií Země, není však přímo využívána k pohybu turbíny 10.

Pro správnou funkci motoru jsou důležité přechody mezi plynnou a kapalnou fází ve vrtu 1. Tlak v médiu nesmí překročit tlak kritického bodu (pro dusík 3,40 MPa), nad kterým se látka nachází ve stavu superkritické kapaliny a nedochází k fázovým přechodům. Tím je dána maximální výška 427 m pro dusík kapalinového sloupce ve středním kanálu 3 vrtu 1. Dusík ve vrtu 1 má tlak $p_1 = \rho g h$, kde ρ je hustota kapaliny (pro dusík $\rho = 810 \text{ kg/m}^3$), $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ je tíhové zrychlení a h je rozdíl sloupce kapaliny v dutině 4 vrtu 1 a ve středním kanálu 3.

Kryogenní geotermální motor v tomto provedení dále obsahuje turbínu 10 umístěnou u ústí vrtu 1. Turbína 10 v tomto provedení má vodorovnou osou otáčení a využívá tlaku plynu ve vrtu 1 k přeměně na mechanickou práci, která může být dále užita k výrobě elektřiny. Při průchodu plynu turbínou 10 dochází k poklesu tlaku a ochlazení plynu až pod bod varu, takže zkapalní. Turbína 10 je konstruována jako přetlaková plynová turbína. Její schéma (příčný řez) je na obr. 2. Turbína 10 obsahuje několik válcovitých expanzních komor C (viz dále), přičemž dále bude konstrukce a činnost vysvětlena nejdříve pro jednu expanzní komoru C. Expanzní komorou C prochází středová hřídel A, na které je souose upevněna pracovní hřídel H s pístem P. Píst P je pevně spojen s hřídelí H. Dno, víko a vnitřní válcová stěna expanzní komory C a vnější plocha pracovní hřídele H vymezují pracovní prostor expanzní komory, který je pístem P rozdělen na prostor S1 před pístem a prostor S2 za pístem. Turbína 10 dále obsahuje záklopku Z a elektromagnet M pro ovládání záklopky Z. Jak píst P, tak záklopka

Z jsou vůči vnitřnímu prostoru expanzní komory C utěsněny pomocí těsnění z technické pryže. Přívod pracovního plynu do expanzní komory C je zajištěn vstupním otvorem I, který je spojen s přívodní trubicí 11, na jejímž ústí do komory C je umístěn regulační ventil V. Zkondenzovaná kapalina je z expanzní komory C odváděna odtokovým otvorem O do odtokové trubice 12 a do zásobníku 13 zkapalněného plynu, odkud se trubicí 14 opatřenou ventilem 15 vrací do kanálu 3 a tedy do vrtu 1. Zásobník 13 je konstruován jako Dewarova nádoba, takže je tepelně izolován. Čep B, kolem které se otáčí záklopka Z, je pevně spojen s expanzní komorou C.

Činnost turbíny 10 sestává ze dvou fází. První fáze začíná v čase t_1 , kdy je píst P a záklopka Z těsně u sebe (píst P je před vstupním otvorem I, ve směru pohybu hřídele H, který je v tomto případě znázorněn ve směru pohybu hodinových ručiček), objem mezi nimi je velmi malý. V čase t_1 se otevře ventil V a do prostoru S2 expanzní komory C začne přívodní trubicí 11 pod tlakem proudit plyn. Píst P se pohybuje a roztáčí hřídel H. Tento děj je přibližně isobarický a isotermický, objem plynu je doplňován varem kapaliny na dně vrtu. V čase t_2 je ventil V uzavřen a nastává druhá fáze. Prostor S2, tj. objem mezi pístem P a záklopkou Z se dále zvětšuje, tlak mezi nimi klesá a teplota klesá, až dojde ke kondenzaci plynu na kapalinu. Zároveň je vytlačována kapalina na druhé straně pístu P, z prostoru S1, do odtokového otvoru O a trubice 12. Ve druhé fázi je děj přibližně adiabatický. Tato fáze pokračuje, až píst P narazí zezadu do záklopky Z. Píst P přejde přes záklopku

\underline{Z} (která se opět uzavře) a tím se z prostoru $\underline{S2}$ za pístem stane prostor $\underline{S1}$ před pístem. Tím končí druhá fáze, je otevřen ventil \underline{V} a začíná opět fáze 1.

Přechod pístu \underline{P} přes záklopku \underline{Z} je důležitým prvkem celého procesu (viz obr. 3). Musí při něm zůstat stále oddělen prostor $\underline{S1}$ před pístem a prostor $\underline{S2}$ za pístem. Toho je dosaženo jednak speciálním válcovitým tvarem zadní části pístu \underline{P} , jednak činností elektromagnetu \underline{M} , který udržuje záklopku \underline{Z} zavřenou, pokud je aktivní, a konečně správným načasováním otevření ventilu \underline{V} . Záklopka \underline{Z} je udržována ve své poloze „zavřeno“ jednak přetlakem před a za záklopkou \underline{Z} , jednak elektromagnetem \underline{M} . Když narazí píst \underline{P} zezadu do záklopky \underline{Z} , je tlak v expanzní komoře \underline{C} před záklopkou \underline{Z} minimální a zároveň je v tom okamžiku vypnut elektromagnet \underline{M} . Píst \underline{P} se pohybuje setrvačností hřídele \underline{H} a sklopí záklopku \underline{Z} . Jakmile píst \underline{P} přejde přes záklopku \underline{Z} , je elektromagnet \underline{M} opět zapnut a zároveň je otevřen ventil \underline{V} . To způsobí pohyb záklopky \underline{Z} po zadní straně pístu \underline{P} , přitom zůstává prostor $\underline{S2}$ před a prostor $\underline{S1}$ za pístem oddělen. Zapínání a vypínání elektromagnetu \underline{M} je ovládáno polohou pístu \underline{P} , která je detekována pomocí laserové závory.

Vzhledem k tomu, že síla působící na píst \underline{P} se během druhé fáze mění, byl by pohyb hřídele \underline{H} nerovnoměrný. Proto je ke stejné středové hřídeli \underline{A} připojeno 12 expanzních komor \underline{C} , ve kterých jsou pracovní hřídele \underline{H} , resp. písty \underline{P} vůči sobě fázově posunuty (viz obr. 4). Válcovité expanzní komory \underline{C} jsou uspořádány tak, že k sobě přiléhají svými podstavami a vytvářejí tak svazek komor, kde jsou písty \underline{P} v jednotlivých komorách \underline{C} při svém otáčení fázově posunuty o úhel $2\pi/12$. Jestliže je expanzních komor \underline{C} více (například 12, jak uvedeno výše), je pohyb středové hřídele \underline{A} rovnoměrný. Setrvačnost hřídele \underline{H} a případně připojeného rotoru elektrického generátoru přispívá také k rovnoměrnému pohybu. Otáčky hřídele \underline{H} jsou závislé jednak na zatížení hřídele \underline{H} (síle, kterou musí při otáčení překonávat) jednak na tlaku plynu ve vrtu $\underline{1}$ (který je dán rozdílem hladin ve středním kanálu $\underline{3}$ a ve vrtu $\underline{1}$). Regulací množství kapaliny, vpouštěné ze zásobníku $\underline{13}$ do středního kanálu $\underline{3}$ je možno tento tlak regulovat a dosáhnout tak konstantních otáček, které jsou důležité pro výrobu elektrické energie.

Turbína $\underline{10}$ je umístěna pod zemí a je tepelně izolována od vnějšího prostředí. Skříň turbíny je udržována na stálé teplotě (chlazena) pomocí standardního chladicího zařízení $\underline{16}$, výhodně s oběhem chladicího média, odborníkovi známé konstrukce. Od zemského povrchu a okolní horniny je turbína tepelně izolovaná izolačním pláštěm $\underline{17}$.

Příklad 2

Geotermální elektrárna pro tyto parametry: médium argon, hloubka vrtu 20 km

Tato elektrárna využívá motor popsany v příkladu 1, který představuje zdroj mechanické energie s mechanickým výkonem 6,62 MW, elektrický výkon závisí na účinnosti přeměny mechanické energie na elektrickou. Vybudování vrtu do hloubky 20 km by bylo velmi nákladné a dosud nebylo nikde na světě realizováno. Ekonomicky bude dávat smysl, až se podaří zlevnit provádění hlubokých vrtů, například metodou podle patentu CZ 308559 B6.

Vrt $\underline{1}$ sahá od povrchu do hloubky $h = 270$ m, prohloubení $\underline{1.1}$ do 20 km. Ve vrtu $\underline{1}$ sloupec zkapalněného argonu ve středním kanálu $\underline{3}$ o hustotě kapaliny $\rho = 1784$ kg/m³ vytváří tlak maximálně $p_1 = 4,73$ MPa, který je nižší než kritický tlak argonu. Teplota plynu u povrchu $T_2 = 280$ K. Turbína $\underline{10}$ je konstruovaná s 8 expanzními komorami \underline{C} rovnoměrně fázově posunutými o úhel $2\pi/8$. Objem pracovního prostoru v každé komoře je 400 dm³. V první fázi je do expanzní komory přiveden plyn o objemu $V_1 = 50$ dm³, tlaku $p_1 = 4,73$ MPa a teplotě 280 K. V této první fázi je vykonána práce $W_1 = p_1 V_1 = 237$ kJ. Ve druhé fázi se objem zvětší 8x (na 400 dm³), teplota klesne pod bod varu argonu, přičemž dojde ke kondenzaci a tlak klesne k hodnotě blízké nule. Vykonaná práce W_2 je během adiabatického rozpínání $\int_0^{p_1} p(V)dV = 625$ kJ. Ve všech komorách \underline{C} se tak při jedné otáčce vykoná práce 6,62 MJ. Turbína $\underline{10}$ je udržována na otáčkách 1 ot/s, tj. mechanický výkon turbíny je 6,62 MW. Pro účely výroby elektrické energie je na turbínu

10 napojen alternátor standardního provedení. Alternátor může produkovat při běžné účinnosti 70 % 4,63 MW elektrické energie.

5 Tepelná energie je dodávána z prohloubení 1.1, kde probíhá cirkulace vody/vodní páry. Mezi prohloubením 1.1 a samotným vrtem 1 se přenáší tepelný výkon 10 MW. K tomu je třeba, aby došlo za 1 s k ochlazení 3,1 kg vodní páry z 550 K na 373 K, její kondenzaci a poklesu teploty na 320 K. Tepelná energie přechází do vodní páry v hloubkách 10 až 20 km, kde teplota přesahuje 570 K, takže pára se ohřívá na tuto teplotu. Od 10 km výše je prohloubení 1.1 tepelně izolováno keramickým pažením 7.1, aby se teplota páry uchovala. Vlivem tepelných ztrát klesne její teplota 10 o 20 K na výše zmíněných 550 K. Při tomto výkonu motoru se teplo v okolí prohloubení 1.1 stihne doplňovat tepelným tokem z hlubších partií Země, jak je ukázáno v publikaci Zábránová et al., 2022.

Příklad 3

15

Geotermální mechanický pohon pro tyto parametry: médium dusík, hloubka vrtu 400 m

Motor podle technického řešení v tomto případě představuje malý zdroj mechanické energie o špičkovém výkonu 25 kW, který se uplatní především v místech, kam je obtížné zavést elektrické 20 vedení, a potřebujeme provozovat mechanické stroje.

Vrt 1 sahá od povrchu do hloubky $h = 400$ m, prohloubení 1.1 není vybudováno. Sloupec zkapalněného dusíku ve středním kanálu 3 o hustotě kapaliny $\rho = 810 \text{ kg/m}^3$ vytváří tlak 25 maximálně $p_1 = 3,24 \text{ MPa}$, který je nižší než kritický tlak dusíku. Teplota plynu u povrchu $T_1 = 280 \text{ K}$. Turbína 10 je konstruovaná s 12 expanzními komorami C rovnoměrně fázově posunutými. Objem v každé komoře je $1,2 \text{ dm}^3$. V první fázi je do expanzní komory C přiveden plyn a objemu $V_1 = 0,1 \text{ dm}^3$ tlaku $p_1 = 3,24 \text{ MPa}$ a teplotě 280 K. V této první fázi je vykonána práce $W_1 = p_1 V_1 = 0,32 \text{ kJ}$. Ve druhé fázi se objem zvětší 12x (na $1,2 \text{ dm}^3$), teplota klesne pod bod varu, přičemž dojde ke kondenzaci a tlak klesne k hodnotě blízké nule. Vykonaná práce W_2 je 30 během adiabatického rozpínání $\int_0^{p_1} p(V)dV = 1,78 \text{ kJ}$. Ve všech komorách C se tak při jedné otáčce vykoná práce 25,2 kJ. Turbína 10 je udržována na otáčkách 1 ot/s, tj. mechanický výkon turbíny je 2,52 kW.

Při tomto výkonu se nestačí doplňovat teplo do hornin kolem vrtu 1 pouhým vedením. Záleží na 35 konkrétních geologických podmínkách, zda se uplatní též doplnění tepla pomocí konvekce vody. Pokud stroj není využíván nepřetržitě, doplní se teplo kolem vrtu v obdobích, kdy je stroj vypnutý. Příkladem použití může být pohon lanovky v místě, kde není elektřina. Zdroj energie se zapíná jen na dobu, kdy jede lanovka nahoru. Mechanická práce může být přitom využita přímo k pohonu lanovky bez její konverze na elektrickou energii a zpět.

40

Příklad 4

Geotermální elektrárna pro tyto parametry: médium dusík, hloubka zanoření 400 m, využití staré 45 důlní jámy a zatopených dolů

45

Toto řešení přináší elektrárnu s ekonomicky výhodnou výrobou elektřiny, která využívá starou 50 důlní jámu a důlní vody. Mechanický výkon je 252 kW, elektrický výkon závisí na účinnosti přeměny na elektrickou energii. Protože odpadají náklady na hloubení vrtu, představuje toto řešení velmi efektivní řešení pro staré důlní oblasti.

50

Není vytvořen zvláštní vrt 1, pažnice 2, v tomto případě ve formě trubice 2, je instalována ve staré důlní jámě, která nahrazuje vrt 1, a sahá od povrchu do hloubky $h = 400$ m. Předpokládejme, že od 300 m je trubice 2 ponořena do důlní vody o teplotě, která je o 10 K vyšší než teplota na povrchu, tedy teplota vody je 290 K, teplota na povrchu je 280 K. Spodních 100 m trubice 2 tak

5 tvoří varnou nádobu 6, kde se vaří dusík a ohřívá se na teplotu 280 K. Sloupec kapalného dusíku ve středním kanálu 3 o hustotě kapaliny $\rho = 810 \text{ kg/m}^3$ vytváří tlak $p_l = 3,24 \text{ MPa}$ (který je menší než kritický tlak). Turbína 10 je konstruovaná s 12 expanzními komorami C rovnoměrně fázově posunutými. Objem v každé komoře je 12 dm^3 . V první fázi je do expanzní komory přiveden plyn o objemu $V_l = 1 \text{ dm}^3$ tlaku $p_l = 3,24 \text{ MPa}$ a teplotě 280 K. V této první fázi je vykonána práce $W_1 = p_l V_l = 3,24 \text{ kJ}$. Ve druhé fázi se objem zvětší 12x (na 12 dm^3), teplota klesne pod bod varu, přičemž dojde ke kondenzaci a tlak klesne k hodnotě blízké nule. Vykonaná práce W_2 je během adiabatického rozpínání $\int_0^{p_l} p(V)dV = 17,8 \text{ kJ}$. Ve všech komorách C se tak při jedné otáčce vykoná práce 252 kJ. Turbína 10 je udržována na otáčkách 1 ot/s, tj. mechanický výkon turbíny je 10 252 kW. Pro účely výroby elektrické energie je na turbínu 10 napojen alternátor standardního provedení. Pro obvyklou účinnost alternátoru 70 % je výkon 176 kW elektrické energie.

15 Voda v okolí ponořené varné nádoby 6 se ochlazuje o několik stupňů. Pokud je teplota této ochlazené vody vyšší než 277 K má studenější voda vyšší hustotu než teplejší a klesá tedy dolů do větších hloubek v dole. Na její místo teče teplejší voda. Tím vzniká cirkulace vody. Voda se ohřívá o horninu v rozsáhlém podzemí tvořeném důlními chodbami, proto její teplota zůstává stabilní 290 K. Tato elektrárna tedy využívá tepla z velkého objemu horniny, který je dán rozsahem zatopených dolů. Proto není nutný přívod tepla z větších hloubek jako v příkladu 1.

20

NÁROKY NA OCHRANU

1. Kryogenní geotermální motor, **vyznačující se tím**, že obsahuje zemní vrt (1), plynovou turbínu (10), pracovní plyn a zásobník (13) zkapalněného pracovního plynu, kde vrt (1) je vystrojen pažnicí (2), osou vrtu (1) prochází kanál (3) pro sestup zkapalněného pracovního plynu, prostor mezi vnitřním povrchem pažnice (2) a vnějším povrchem kanálu (3) vymezuje dutinu (4) pro proudění pracovního plynu směrem vzhůru, přičemž pažnice (2) je vyrobena z tepelně vodivého materiálu a kanál (3) je vyroben z tepelně izolujícího materiálu, na dně vrtu (1) je umístěna varná nádoba (6) pro přeměnu zkapalněného pracovního plynu na plyn, přičemž kanál (3) zasahuje svým dolním koncem do prostoru varné nádoby (6), turbína (10) je plynová turbína, poháněná proudem pracovního plynu, je funkčně spojena s ústím vrtu (1) pro průtok pracovního plynu z vrtu (1) do turbíny (10) a se zásobníkem (13) zkapalněného pracovního plynu pro shromažďování zkapalněného pracovního plynu zkondenzovaného v turbíně (10) a/nebo po průchodu turbínou (10), přičemž zásobník (13) je funkčně spojen s kanálem (3) pro navrácení zkapalněného plynu do vrtu (1).

2. Kryogenní geotermální motor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že varná nádoba (6) obsahuje zesílenou stěnu (2.1) pažnice (2) a dno (6.1), na kterém je upevněn kuželovitý usměrňovač (6.2) proudění umístěný pod ústím kanálu (3).

3. Kryogenní geotermální motor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že obsahuje perforované destičky (5) pro zvýšení účinnosti přenosu tepla mezi horninou a pracovním plynem, kde destičky (5) jsou upevněny k pažnici (2) a jsou paprskovitě uspořádané v dutině (4), takže dutinu (4) rozdělují na segmenty, které z hlediska proudění pracovního plynu vytvářejí jediný společný prostor díky perforacím destiček (5).

4. Kryogenní geotermální motor podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že turbína (10) je umístěna pod zemským povrchem přímo v ústí vrtu (1) nebo v přídavné vodorovné štole navazující kolmo na vrt (1), má buďto vertikální nebo horizontální osu otáčení, je tepelně izolována od svého okolí izolačním pláštěm (17) a je chlazena chladicím zařízením (16).

5. Kryogenní geotermální motor podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje prohloubení (1.1), které souvisle navazuje na vrt (1), kde prohloubení (1.1) je vystrojeno pažnicí a je naplněno vodou/vodní párou, osou prohloubení (1.1) prochází kanál (8) pro sestup vody ke dnu prohloubení (1.1), prostor mezi vnitřním povrchem pažnice a vnějším povrchem kanálu (8) vymezuje dutinu (9) pro proudění vodní páry směrem vzhůru, přičemž horní část (7.1) pažnice je vyrobena z tepelného izolantu a dolní část (7.2) pažnice je vyrobena z tepelně vodivého materiálu, horní ústí kanálu (8) obsahuje trychtýřovité rozšíření (8.1) pro účinný záchyt zkondenzované vody a dno (6.1) varné nádoby (6) má kuželovitý tvar pro zvětšení kondenzační plochy a usnadnění stékání zkondenzované vody do trychtýřovitého rozšíření (8.1) kanálu (8).

6. Kryogenní geotermální motor podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že na dně prohloubení (1.1) je upevněn kuželovitý usměrňovač (7.3) proudění umístěný pod ústím kanálu (8).

7. Kryogenní geotermální motor podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že turbína (10) je přetlaková plynová turbína, která obsahuje alespoň jednu válcovitou expanzní komoru (C), uvnitř které je instalována pohyblivá středová hřídel (A), na které je souose usazena a pevně uchycena pracovní hřídel (H) s pístem (P), kde píst (P) je pevně spojen s hřídelí (H), přičemž dno a víko expanzní komory (C), vnitřní válcová stěna expanzní komory (C) a vnější plocha pracovní hřídele (H) s pístem (P) vymezují pracovní prostor expanzní komory (C), záklopku (Z), kde čep (B) záklopky (Z) je pevně spojen s expanzní komorou (C), přičemž záklopka (Z) je uzpůsobena pro dočasné úplné oddělení prostoru (S1) před pístem a prostoru (S2) za pístem, pohyb záklopky (Z) je ovládán pohybem pístu (P) a zavřená poloha záklopky (Z) je fixována elektromagnetem (M), a dále obsahuje v plášti expanzní komory (C) vstupní otvor (I) pro přívod pracovního plynu z dutiny (4) vrtu (1) opatřený ventilem (V), a odtokový otvor (O) pro odtok zkondenzovaného zkapalněného plynu do zásobníku (13).

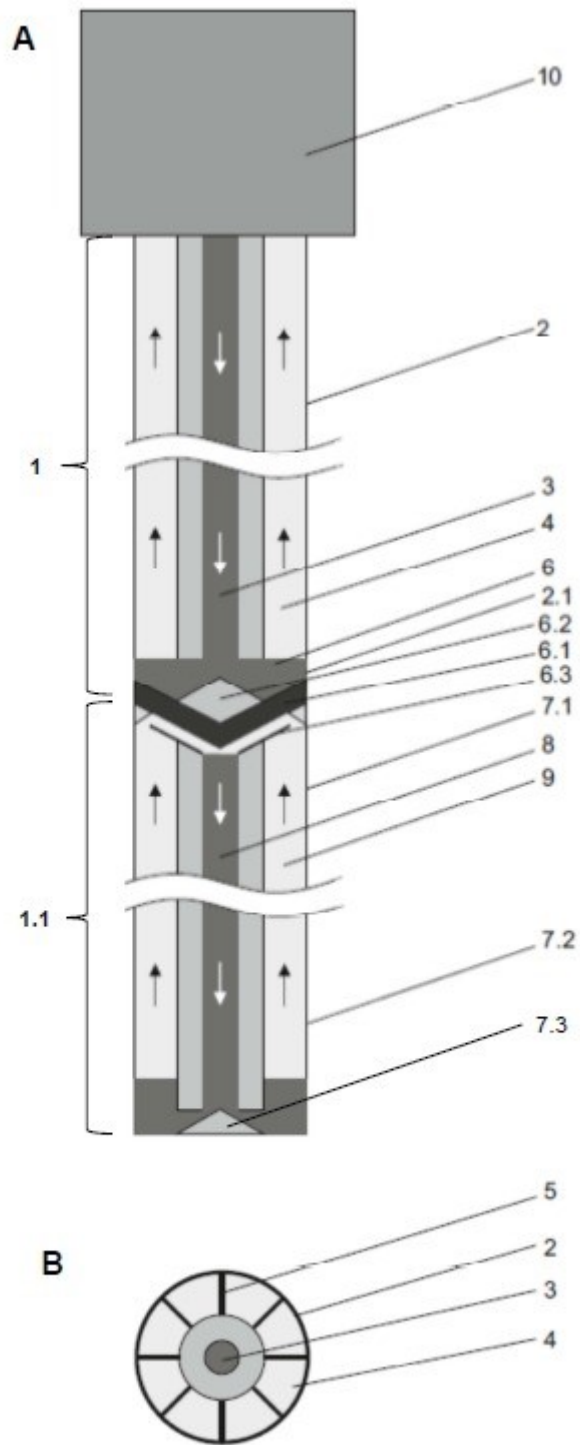
8. Kryogenní geotermální motor podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že turbína (10) obsahuje několik, výhodně 8 nebo 12, expanzních komor (C), kde komory (C) k sobě přiléhají a vytvářejí svazek komor (C), kde pracovní hřídele (H) jsou souose upevněny na středové hřídeli (A), přičemž polohy pístů (P) jsou vzájemně fázově posunuty.
- 5 9. Kryogenní geotermální motor podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že turbína (10) obsahuje řídicí jednotku pro detekci pohybu pístu (P), pohybu záklopky (Z) a případně tlaků v expanzní komoře (C) a pro řízení a synchronizaci pohybu záklopky (Z), aktivity elektromagnetu (M) a uzavření/otevření ventilu (V) přívodu pracovního plynu do vstupního otvoru (I) expanzní komory (C).
- 10 10. Kryogenní geotermální motor podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že vrt (1) sahá do hloubky nejméně 100 m, výhodně 300 m, výhodněji 500 m, a případně prohloubení (1.1) sahá do hloubky alespoň 10 km, výhodně 15 km, výhodněji 20 km.

4 výkresy

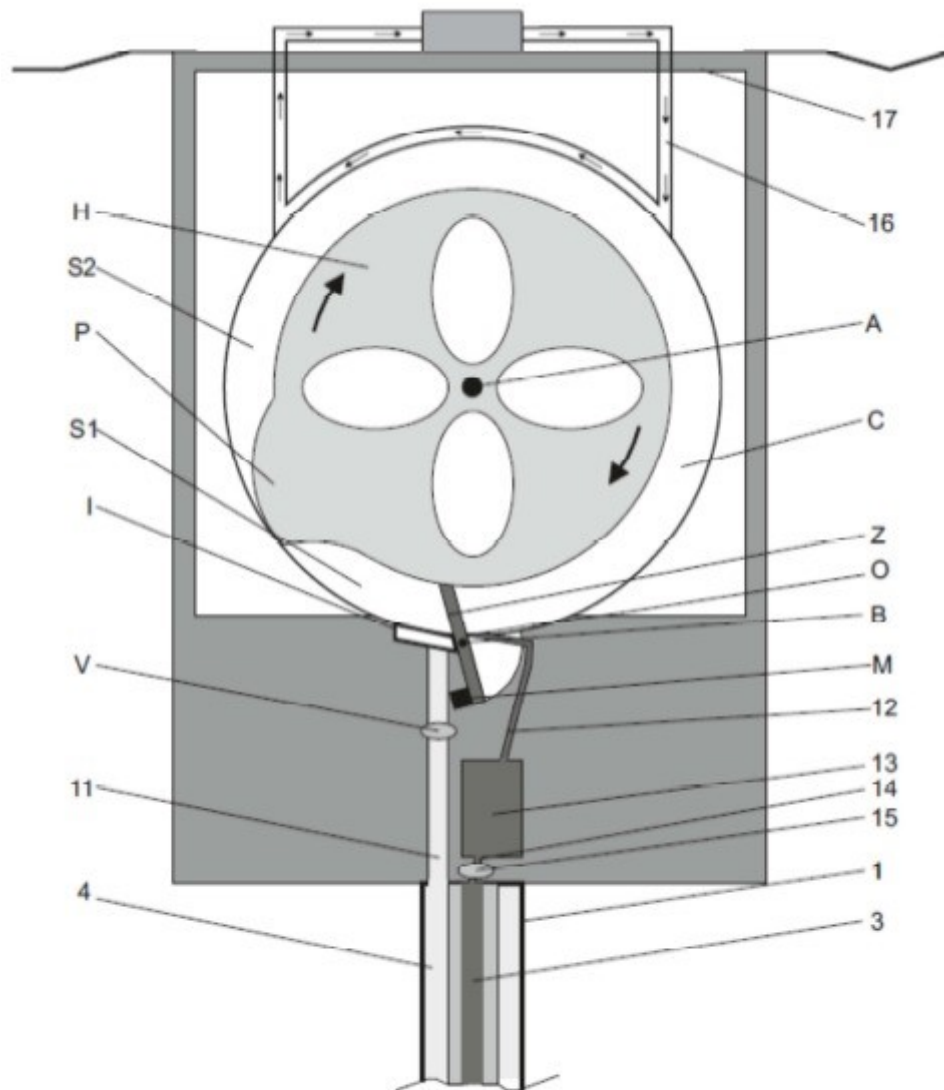
15

Seznam vztahových značek:

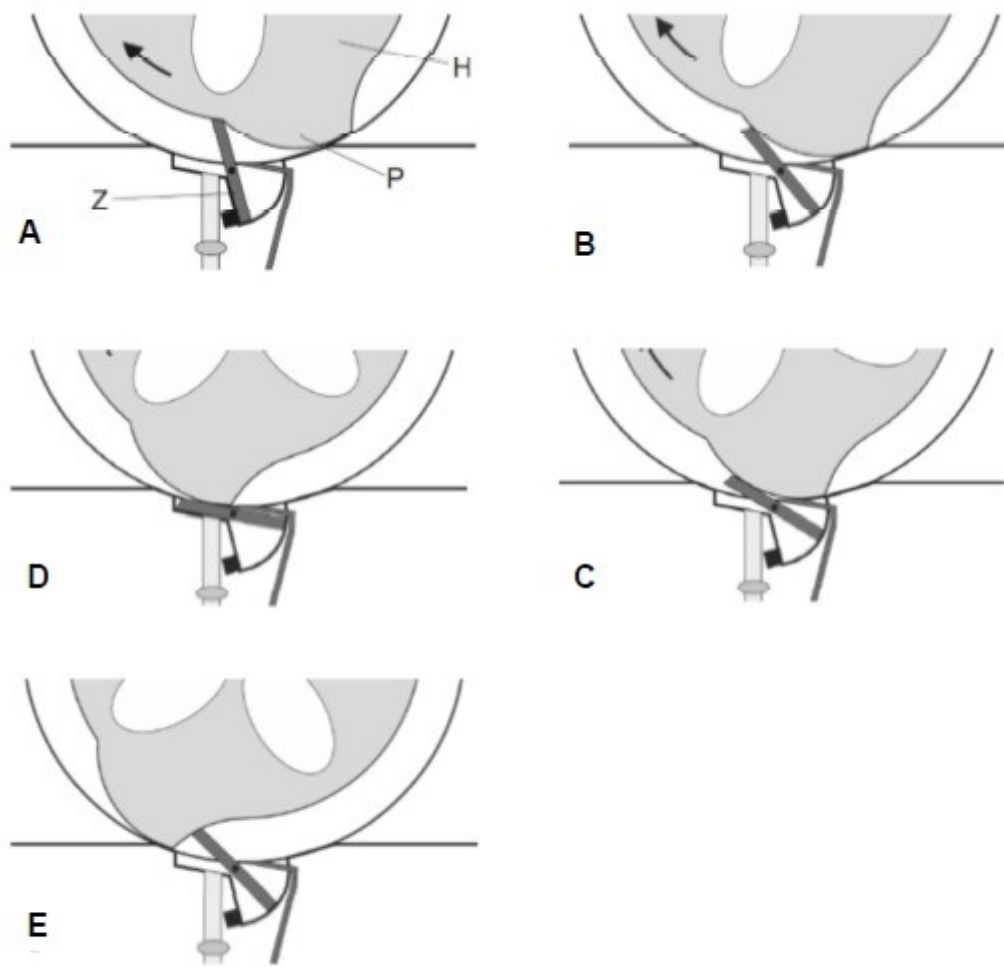
- 1 vrt
- 1.1 prohloubení vrtu
- 2 pažnice vrtu
- 2.1 zesílená pažnice (= stěna varné nádoby)
- 3 kanál (pro sestup kapalného plynu)
- 4 dutina ve vrtu (pro vzestup plynu)
- 5 destička (zlepšující přenos tepla)
- 6 varná nádoba
- 7.1 keramická část pažnice (horní část pažnice prohloubení vrtu)
- 7.2 ocelová část pažnice (dolní část pažnice prohloubení vrtu)
- 8 kanál (pro sestup vody)
- 8.1 trychtýřovité rozšíření kanálu (pro sestup vody)
- 9 dutina v prohloubení (pro vzestup páry)
- 10 turbína
- 11 přívodní trubice (pro přívod plynu do turbíny)
- 12 odvodní trubice (pro odvod zkapalněného plynu z turbíny)
- 13 zásobník (zkapalněného plynu)
- 14 výtoková trubice (pro výtok zkapalněného plynu ze zásobníku)
- 15 ventil (pro regulaci výtoku zkapalněného plynu)
- 16 chladičí zařízení turbíny
- 17 tepelně izolační plášť
- A středová hřídel (turbíny)
- B čep záklopky
- C expanzní komora
- H pracovní hřídel (turbíny)
- I vstupní otvor (pro vstup plynu)
- M magnet
- O výstupní otvor (pro výtok zkapalněného plynu)
- P píst
- S1 prostor (expanzní komory) před pístem
- S2 prostor (expanzní komory) za pístem
- V ventil (na přívodní trubici plynu)



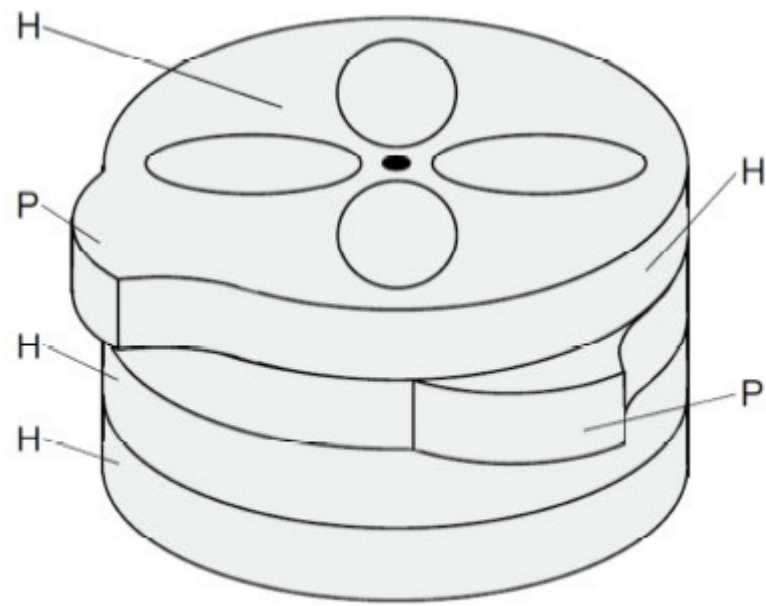
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4